

راهبردهای بهینه تراش گارنت دمانتوئید کرمان با تأکید بر مدیریت چالش‌های فرآوری

زهره مختاری^۱، مصطفی ستوده^{۲*}، علیرضا علی‌زاده مقدم^۳، مهدیه رافعی^۴

^۱ استادیار گروه فناوری فرآورده‌های طبیعی و فراوری مواد معدنی، دانشکده فناوری‌های نوین بین‌رشته‌ای، دانشگاه نیشابور

^{۲،۳،۴} دانشجوی کارشناسی ارشد گوهرشناسی کاربرد و کانی‌های صنعتی، گروه فناوری فرآورده‌های طبیعی و فراوری مواد معدنی، دانشکده فناوری‌های نوین بین‌رشته‌ای، دانشگاه نیشابور

*m.setoode1400@gmail.com

چکیده

گارنت دمانتوئید، یکی از گرانبهاترین گوهرهای ایران، به دلیل رنگ سبز غنی، درخشش استثنایی و پراکندگی نوری بالا شناخته می‌شود و اغلب حاوی ناخالصی‌های مشخصه هورس‌تیل است که فرآیند تراش آن را پیچیده می‌کند. این مطالعه با تلفیق مرور سیستماتیک منابع علمی و تجربیات عملی گوهرتراشان، هفت چالش کلیدی در تراش دمانتوئید کرمان شامل مدیریت هورس‌تیل، تیرگی رنگ، حساسیت حرارتی، سختی متوسط، حفظ حداکثر وزن قیراطی، پولیش‌پذیری دشوار و انتخاب طرح تراش بهینه را شناسایی و تحلیل می‌کند. برای هر چالش، راهکارهای علمی و عملی ارائه شده و تأکید بر ارزیابی هوشمند و یکپارچه ویژگی‌های بلور، به جای حذف ناخالصی‌ها به هر قیمت، شده است. مقاله همچنین سه طرح تراش بهینه (برلین گرد، استپ کات مربعی و کوشن) را ارزیابی می‌کند تا تعادل میان جلوه نوری، بازدهی وزن و استحکام مکانیکی برقرار شود و ارزش زیبایی‌شناختی و اقتصادی گوهر افزایش یابد.

کلیدواژه‌ها: گارنت دمانتوئید، تراش گوهر، ناخالصی هورس‌تیل، مدیریت فرآوری، پولیش بهینه، ویژگی‌های اپتیک

Optimal Strategies for Faceting Demantoid Garnet from Kerman, with Emphasis on Managing Processing Challenges

Zahra Mokhtari^{1*}; Mostafa Sotoudeh^{2*}, Alireza Alizadeh Moghaddam³, Mahdich Rafei⁴

¹ Assistant Professor, Department of Natural Products and Mineral Processing Technology, Faculty of Novel Interdisciplinary Technologies, University of Neyshabour, Neyshabour, Iran.

^{2,3,4} Master's student in Applied Gemology and Industrial Minerals, Department of Natural Products and Mineral Processing Technology, Faculty of Novel Interdisciplinary Technologies, University of Neyshabour, Neyshabour, Iran.

*m.setoode1400@gmail.com

Abstract

Demantoid garnet, one of Iran's most valuable gemstones, is renowned for its vivid green color, exceptional brilliance, and high optical dispersion. This gemstone, often containing characteristic horsetail (calcite) inclusions, presents significant challenges during cutting that require careful technical management. This review integrates a systematic analysis of scientific literature with practical experience from Iranian gem cutters to identify and evaluate seven major challenges in processing demantoid garnet: management of horsetail inclusions, color darkness, thermal sensitivity, medium hardness, preservation of carat weight, difficult polishability, and optimal cut selection. For each challenge, both scientific and practical strategies are proposed, including a logical decision-making sequence (first managing inclusions, then optimizing color, and finally maximizing carat yield), conservative cutting protocols using fine abrasives, and precise geometric design to minimize undesirable optical phenomena such as windowing and dark zones. Findings highlight that success in processing this gemstone

depends on replacing traditional indiscriminate removal of inclusions with a modern, integrated approach that evaluates, adapts, and strategically positions crystal features. This approach reduces breakage risk while enhancing the aesthetic and economic value of the gemstone. Additionally, the optical characteristics of Kerman demantoid are discussed, and three optimal cutting designs (round brilliant, square step, and cushion) are evaluated to achieve a balance among optical performance, weight retention, and mechanical stability.

Keywords: Demantoid Garnet, Gem Cutting, Horsetail Inclusions, Processing Management, Polishing Optimization, Optical Properties

۱- مقدمه

گارنت دمانتوئید، گرانبهاترین گونه از خانواده گارنت، به دلیل پراکندگی نوری بسیار بالا که بیشترین میزان را در میان گوهرهای رنگین دارد، ارزش فوق‌العاده‌ای دارد. ذخایر این کانی در ایران، به ویژه در ناحیه کرمان، نمونه‌هایی با رنگ سبز ممتاز تولید می‌کنند که اغلب شامل ناخالصی‌های مشخصه هورس‌تیل از جنس کلسیت هستند. این ناخالصی‌ها می‌توانند ویژگی منحصر به فردی ایجاد کنند، اما همزمان چالش‌های فنی قابل توجهی در فرآیند تراش به وجود می‌آورند. فرآوری دمانتوئید همواره با ریسک بالا همراه بوده است، زیرا عواملی مانند حساسیت حرارتی، تیرگی رنگ و سختی متوسط می‌توانند منجر به ترک خوردگی، کاهش درخشش یا اتلاف وزن شوند. هدف این مقاله، یکپارچه‌سازی دانش نوین گوهرشناسی با تجربیات عملی تراشکاران سنتی ایرانی و ارائه راهکارهای عملی برای مدیریت این چالش‌ها است. این مطالعه بر ترکیب یافته‌های پژوهشی بین‌المللی با مشاهدات میدانی تمرکز دارد تا رویکردی جامع برای بهینه‌سازی تراش دمانتوئید ارائه شود. علاوه بر بررسی چالش‌ها، مقاله به ویژگی‌های اپتیکی و نوری دمانتوئید می‌پردازد که نقش کلیدی در ارزش‌گذاری و طراحی تراش دارند. در نهایت، این مطالعه نشان می‌دهد که با مدیریت هوشمند فرآوری و چالش‌ها، ایران می‌تواند جایگاه خود را در زنجیره ارزش جهانی این گوهر نادر تقویت کند (Freire-Lista et al., 2016; Read, 2005; Giuliani et al., 2019).

۲- ویژگی‌های اپتیکی و نوری دمانتوئید کرمان

دمانتوئید کرمان دارای ویژگی‌های اپتیکی برجسته‌ای است که آن را از سایر گارنت‌ها متمایز می‌کند. ضریب شکست نور آن بین ۱.۸۸۰ تا ۱.۸۸۹ قرار دارد و باعث درخشش بالا می‌شود. پراکندگی نوری برابر با ۰.۰۵۷ است که بالاترین مقدار در میان گوهرها بوده و پدیده "آتش" استثنایی ایجاد می‌کند؛ جایی که نور سفید به رنگ‌های طیفی تجزیه می‌شود. این گوهر از نظر اپتیکی، ایزوتروپ است، به معنای عدم دوشکستی، که تراش را ساده‌تر می‌کند، اما آن را به زوایای تراش حساس می‌سازد. رنگ سبز غنی آن ناشی از حضور کروم (Cr) است، با جذب قوی در نواحی آبی و قرمز طیف مرئی، که منجر به انتقال نور سبز می‌شود. در نمونه‌های کرمان، ناخالصی‌های هورس‌تیل (رشته‌های کلسیتی) می‌توانند پدیده‌های نوری منحصر به فرد ایجاد کنند، مانند پراکندگی اضافی نور در اطراف رشته‌ها، که در موارد استثنایی ارزش زیبایی‌شناختی را افزایش می‌دهد. طیف جذب UV-Vis نشان‌دهنده باندهای جذب در ۴۴۳ و ۵۷۵ نانومتر است، که شدت آن‌ها تیرگی رنگ را تعیین می‌کند. لوستر و شفافیت بالای نمونه‌های باکیفیت امکان نمایش عمق رنگ را فراهم می‌کند. این ویژگی‌ها نیازمند طراحی تراش دقیق هستند تا از نشت نور یا ایجاد سایه جلوگیری شود (Ahadnejad et al., 2022; Giuliani et al., 2025).

۳- چالش‌های عمده تراش و راهکارهای تلفیقی

در فرآیند تراش دمانتوئید کرمان، هفت چالش کلیدی شناسایی شده است که هر یک نیازمند راهکارهای تلفیقی علمی و عملی می‌باشند. این چالش‌ها در جدول ۱ به طور خلاصه ارائه شده‌اند (مشاهدات و مصاحبه‌های میدانی نویسنده با گوهرتراشان ایرانی، ۱۴۰۲). چالش‌ها اغلب به صورت درهم‌تنیده ظاهر می‌شوند و مدیریت مؤثر آن‌ها نیازمند رویکردی یکپارچه است (kiani et al., 2025; Nouri Sandiani et al., 2021).

جدول ۱: چالش‌ها و راهکارهای فرآوری گارنت دمانتوئید کرمان

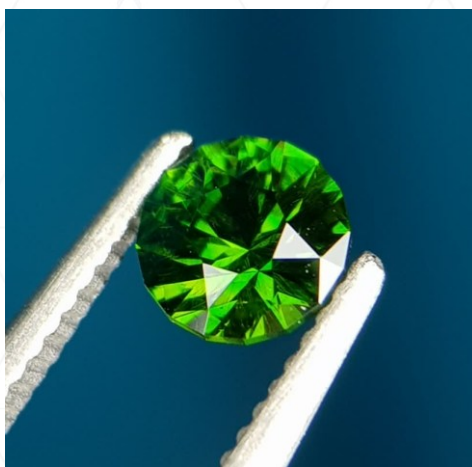
چالش و عنوان	تحلیل علمی	راهکارهای تلفیقی پیشنهادی
۱. مدیریت ناخالصی «هورس‌تیل» و تعیین جایگاه بهینه	ارزیابی ریسک این ناخالصی‌های رشته‌ای بر اساس ترکیب (کلسیت)، تراکم و راستا انجام می‌شود. صفحه‌های تراش موازی با راستای غالب رشته‌ها، تنش را حداقل می‌کند.	الگوریتم تصمیم‌گیری: ابتدا ایمنی ساختاری و سپس ارزش زیبایی‌شناختی ناخالصی ارزیابی شود. برای نمونه‌های استثنایی «خورشیدی»، طراحی باید به گونه‌ای باشد که نقطه کانونی ناخالصی نزدیک کیولت قرار گیرد و رشته‌ها به سمت تبیل باز شوند. در غیر این صورت، استراتژی اصلی حذف یا بی‌خطر سازی با قرارگیری در حاشیه است
۲. تیرگی رنگ و پدیده‌های نوری نامطلوب	رنگ تیره ناشی از جذب قوی نور توسط آهن است. پدیده «پنجره» به دلیل زوایای کم پاولیون و «سایه» به دلیل زوایای زیاد یا جذب شدید نور رخ می‌دهد.	الف) بازرسی با غوطه‌وری در آب و چرخش زیر نور قوی. ب) رعایت زوایای بهینه: پاولیون: ۴۰.۵-۴۲ درجه، تاج: ۳۴-۳۶ درجه. ج) اولویت پاکیزگی مطلق تبیل و هدایت ناخالصی‌های کوچک به بخش‌های پایینی پاولیون
۳. حساسیت به شوک حرارتی	تفاوت ضریب انبساط حرارتی بین دمانتوئید و ناخالصی‌های کلسیتی می‌تواند منجر به ترک‌خوردگی حرارتی شود.	استفاده از جریان مداوم آب سرد، اعمال فشار کم و ضربه‌های کوتاه، و استراحت دادن به سنگ بین مراحل تراش
۴. سختی متوسط و آسیب‌پذیری در برابر خراش	سختی موس ۶.۵-۷.۵ دمانتوئید را در برابر ذرات ساینده آزاد آسیب‌پذیر می‌کند.	تفکیک چرخ‌های هر مرحله، توالی منظم ساینده‌ها (از ۶۰۰ به ۵۰۰۰ مش)، و پرداخت نهایی با اکسید سریم بر چرخ لاستیکی
۵. حفظ حداکثر وزن قیروطی	بازدهی وزن تابعی مستقیم از انطباق طرح تراش نهایی با هندسه بلور خام است.	توالی تصمیم‌گیری: ۱) مدیریت ناخالصی‌ها، ۲) بهینه‌سازی رنگ، ۳) حداکثر کردن عرض کمر بند. شروع تراش با ساینده‌های ریز (مش ۱۰۰۰+) برای کنترل بهتر و حداقل اتلاف ماده
۶. پولیش‌پذیری دشوار	ناهمسان‌گردی سایشی، تفاوت سختی با ناخالصی‌ها و حساسیت حرارتی میکروسکوپی از علل علمی این چالش هستند.	پروتکل بهینه پولیش: پیش‌پرداخت با ۳۰۰۰ مش. پرداخت اولیه با پودر الماسه ۱.۵ میکرون (معادل ۶۰۰۰۰ مش) روی چرخ مسی و روغن. پرداخت نهایی با اکسید آلومینیوم روی چرخ قلع و آب
۷. انتخاب طرح تراش بهینه	طرح تراش باید میان بهینه‌سازی نوری، بازدهی وزن و استحکام مکانیکی تعادل ایجاد کند.	سه طرح کلاسیک پیشنهادی: برلیان گرد (برای حداکثر «آتش»)، استپ کات مربعی (برای حداکثر بازدهی وزن و نمایش رنگ)، و کوسن (برای استحکام ساختاری بالا). انتخاب نهایی مبتنی بر شکل اولیه بلور و معیارهای جدول فوق است

۴- ارزیابی سه تراش بهینه برای دمانتوئید

انتخاب طرح تراش برای دمانتوئید تابعی از تعادل بین به حداکثر رساندن جلوه‌های نوری (درخشش و آتش)، حفظ بیشترین وزن ماده خام و تطبیق با شکل اولیه بلور است.

۴-۱- تراش برلیان گرد

این تراش با هندسه استاندارد و ۷۳ فست، به‌طور ویژه برای نمایش پراکندگی نوری بالا (آتش) دمانتوئید طراحی شده است (شکل ۱). زوایای دقیق تاج و پایه باعث می‌شوند که نور ورودی بهینه تجزیه و بازتاب شود. با توجه به ضریب شکست حدود ۱.۸۸ دمانتوئید، محاسبه دقیق این زوایا برای جلوگیری از نشت نور (پنجره‌ای شدن) ضروری است. این تراش مناسب بلورهای با کیفیت عالی است؛ یعنی نمونه‌های شفاف و با حداقل ناخالصی، که هدف اصلی نمایش حداکثر بازی نور می‌باشد. در چنین شرایطی، تراش برلیان گرد گزینه نخست برای نمایش جلوه‌های اپتیکی دمانتوئید محسوب می‌شود.



شکل ۱: تراش برلیان گرد در دمانتوئید

۴-۲- تراش استپ (امرالد) مربعی

تراش استپ (امرالد) مربعی با نسبت طول به عرض ($L/W = 1$) به دلیل تطبیق ذاتی با سیستم کریستالوگرافی مکعبی (ایزومتریک) دمانتوئید، یک گزینه بهینه جایگزین تراش بیضی محسوب می‌شود. بلورهای خام دمانتوئید اغلب به شکل مکعبی، اکتاهدراک یا دوازده‌وجهی هستند. تراش مربعی استپ با حداقل دورریز ماده بیشترین همخوانی را با این اشکال هندسی اولیه دارد و بازدهی وزن قیراطی را به حداکثر می‌رساند (شکل ۲). اگرچه این تراش نسبت به برلیان گرد میزان «آتش» کمتری نمایش می‌دهد، فست‌های موازی و بزرگ آن یک میدان باز و شفاف ایجاد می‌کنند. این ویژگی امکان نمایش بی‌وقفه عمق و خلوص رنگ سبز را فراهم کرده و بیننده می‌تواند ناخالصی‌های زیبای هورس‌تیل را به وضوح مشاهده کند. این تراش برای نمونه‌هایی با رنگ عالی و شفافیت بالا که هدف نمایش رنگ و وضوح است، ایده‌آل می‌باشد (Bindereif et al., 2020).



شکل ۲: تراش استپ (امerald) مربعی در دمانتوئید

۴-۳- تراش کوسن

این تراش به‌عنوان یک طرح کلاسیک با گوشه‌های گرد و سطوح فست بزرگ، ساختار مکانیکی مستحکم‌تری نسبت به بسیاری از تراش‌ها ایجاد می‌کند. توزیع یکنواخت‌تر تنش در لبه‌ها باعث کاهش خطر ترک‌خوردگی در گوهرهایی با سختی متوسط، مانند دمانتوئید، می‌شود. تراش کوسن معمولاً شکلی بینابین میان گرد و مربعی دارد و از انعطاف‌پذیری بالایی برای تطبیق با باقی‌مانده‌های بلور خام برخوردار است؛ به‌ویژه در مواردی که پس از اجرای یک تراش مربعی اصلی، ماده خام اضافی باقی می‌ماند. اگرچه میزان «آتش» در تراش کوسن معمولاً کمتر از تراش گرد خالص است، اما این طرح با ارائه ترکیبی متعادل از رنگ، درخشش و دوام مکانیکی، گزینه‌ای مناسب برای مدیریت ریسک در فرآوری دمانتوئید محسوب می‌شود (Andradite – Demantoid, GIA).

۵- مقایسه تراش‌های دمانتوئید و معیارهای مؤثر در انتخاب تراش بهینه

به‌منظور تسهیل فرآیند تصمیم‌گیری در انتخاب تراش مناسب دمانتوئید، مقایسه‌ای میان تراش‌های رایج بر اساس معیارهای فنی و فرآوری انجام شده و خلاصه نتایج در جدول شماره ۲ ارائه شده است. در ادامه، ملاحظات پیش‌رو در انتخاب تراش بهینه گارنت دمانتوئید کرمان نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

جدول ۲: مقایسه تراش‌های بهینه برای گارنت دمانتوئید کرمان

تراش	مزیت اصلی	بهترین کاربرد	ملاحظات برای دمانتوئید کرمان
برلیان گرد	حداکثر نمایش پراکندگی نوری (آتش)	بلورهای شفاف، بی‌عیب یا با ناخالصی کم برای نمایش "آتش" استثنایی دمانتوئید	ایده‌آل است.
استپ کات مربعی (L/W=1)	حداکثر بازدهی وزن و نمایش عمق رنگ	بلورهای با رنگ غنی، شکل مکعبی اولیه، یا برای نمایش ناخالصی‌های هورس تیل	با سیستم بلوری دمانتوئید هماهنگی ذاتی دارد. رنگ سبز نمونه‌های کرمان را به خوبی نمایش می‌دهد.
کوسن	استحکام ساختاری بالا و کاهش تنش در لبه‌ها	بلورهای با شکل نامنظم یا دارای ترک‌های ریز حاشیه‌ای	برای نمونه‌های حساس‌تر که نیازمند احتیاط هستند، ایمن‌ترین انتخاب است.

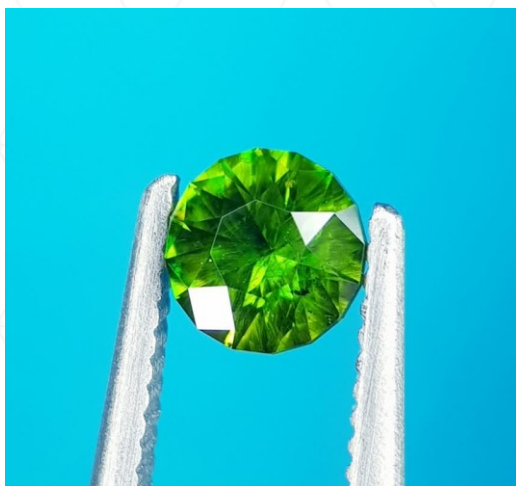
۵-۱- حفظ حداکثری وزن قیراطی

حفظ حداکثری وزن قیراطی در تراش دمانتوئید به معنای حداکثر کردن وزن نهایی سنگ بدون قربانی کردن کیفیت است و مستقیماً به هندسه بلور خام و تطبیق طرح تراش نهایی با آن وابسته است. مطالعات نشان می‌دهد انتخاب تراش‌هایی با انطباق هندسی بالا، بازدهی وزنی را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد و حفظ بیشترین عرض در کمر بند سنگ، تأثیر مستقیمی بر وزن قیراطی نهایی دارد. تراشکاران باتجربه بر اهمیت احترام به شکل اصلی بلور تأکید می‌کنند و معتقدند جهت تراش باید بیشترین قطر ممکن را حفظ کند، ضمن اینکه جهت ناخالصی‌ها و رنگ بهینه نیز مدنظر قرار گیرد. آغاز تراش با ساینده‌های نرم (مش بالا) از برداشت غیرضروری ماده در مراحل اولیه جلوگیری می‌کند و به حفظ وزن کمک می‌کند.

در انتخاب نهایی طرح تراش، ابتدا ناخالصی‌های بحرانی مانند هورس تیل‌های شکاف‌زا مدیریت می‌شوند تا سنگ ایمن باقی بماند، سپس جهت‌هایی که بهترین رنگ را نمایش می‌دهند انتخاب می‌شوند و در نهایت جهتی برگزیده می‌شود که حداکثر عرض کمر بند را حفظ کند. این رویکرد اغلب منجر به پذیرش نسبت‌هایی در تراش بیضی یا کوسن می‌شود که با شکل طبیعی بلور هماهنگ بوده و بازدهی حجمی و وزنی را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، تطبیق طرح کلاسیک با هندسه بلور خام، شامل سه گزینه بهینه یعنی استپ کات مربعی، برلیان گرد و کوسن، با اعمال تغییرات جزئی در نسبت‌ها، امکان حداقل اتلاف ماده و حفظ حداکثری وزن قیراطی را فراهم می‌آورد (Adamo et al., 2009).

۵-۲- مدیریت ناخالصی «هورس تیل» و جایگاه بهینه آن در سنگ تراش خورده

مدیریت ناخالصی‌های هورس تیل در دمانتوئید اهمیت بالایی دارد، زیرا این رشته‌های کلسیتی می‌توانند تنش‌های تراش را افزایش داده و کیفیت نهایی سنگ را تحت تأثیر قرار دهند. در ابتدا، هورس تیل‌ها بر اساس ترکیب کانی‌شناسی، تراکم و راستای نسبی طبقه‌بندی می‌شوند تا ریسک‌های بالقوه شناسایی گردد. تراشکاران با توجه به راستای غالب رشته‌ها، صفحات تراش را طوری طراحی می‌کنند که تنش عمود بر رشته‌ها به حداقل برسد و قرارگیری ناخالصی‌ها زیر فست‌های پاپیلیون، قابلیت مشاهده آن‌ها را کنترل کند (شکل ۳). در بیشتر موارد، هورس تیل به‌عنوان مانع محسوب می‌شود و ارزش سنگ را کاهش می‌دهد؛ با این حال، در نمونه‌های نادر که رشته‌ها تک‌شاخه، بازشونده و از نظر بصری زیبا هستند، می‌توان از آن‌ها به عنوان نقطه کانونی طراحی استفاده کرد. بهترین نمایش چنین ناخالصی‌هایی زمانی حاصل می‌شود که نقطه مرکزی هورس تیل نزدیک به کیولت و رشته‌ها به سمت تیبل گسترش یافته باشند، ضمن اینکه پرداخت با کیفیت بالا، وضوح آن‌ها را حفظ می‌کند. این رویکرد تنها برای کمتر از ۵٪ نمونه‌ها توصیه می‌شود. در سایر موارد، مدیریت ریسک و حداقل‌سازی تأثیر منفی اولویت دارد (Hanco) Zwaan, 2022; Sorokina et al., 2023).



شکل ۳- ناخالصی هورس تیل در تراش برلیان گرد

۵-۳- مدیریت تیرگی رنگ و طراحی دقیق زوایا برای حداقل‌سازی سایه و پنجره

تیرگی رنگ در دمانتوئید ناشی از جذب قوی نور توسط یون‌های آهن (Fe^{3+}) است که باعث عمق رنگ می‌شود، اما مشاهده جزئیات داخلی را دشوار کرده و ریسک ایجاد سایه و پنجره را افزایش می‌دهد. پنجره زمانی رخ می‌دهد که نور از پاولیون فرار می‌کند و سایه زمانی شکل می‌گیرد که نور بازتاب کامل می‌شود اما به سمت ناظر هدایت نمی‌گردد. در سنگ‌های تیره، این مناطق مرده با رنگ اصلی ادغام می‌شوند و ضرورت طراحی دقیق زوایا را برجسته می‌کنند. برای مدیریت این چالش‌ها، ابتدا سنگ خام با غوطه‌وری در آب و نور قوی بررسی می‌شود تا ناخالصی‌ها و ترک‌های پنهان شناسایی شده و نقشه‌برداری شوند. ناخالصی‌های بزرگ و پرریسک باید در مرحله پیش‌فرم حذف شوند، در حالی که ناخالصی‌های کوچک و کم‌تعداد می‌توانند حفظ شده و به قسمت‌های پایین پاولیون یا نزدیک کمر بند هدایت شوند تا تأثیر آن‌ها بر تیرگی و سایه حداقل شود. تیل باید کاملاً پاک و عاری از هرگونه ناخالصی باشد، زیرا مرکز توجه بیننده بوده و هر عیبی ارزش ادراکی سنگ را کاهش می‌دهد. همزمان با مدیریت ناخالصی‌ها، طراحی دقیق زوایا حیاتی است. کوچک‌ترین انحراف از زاویه بهینه می‌تواند باعث ایجاد مناطق مرده یا نشت نور شود، بنابراین زوایای پاولیون و تاج باید در محدوده‌های مشخصی قرار گیرند و در تمام مراحل تراش کنترل شوند. اجرای این رویکرد مرحله‌ای با ساینده‌های نرم و پیش‌فرم محافظه‌کارانه، همراه با جای‌دهی آگاهانه ناخالصی‌ها، موجب کنترل تیرگی، کاهش سایه و پنجره و نمایش بهینه رنگ و جزئیات داخلی سنگ می‌شود (Ahadnejad et al., 2022; Giuliani et al., 2025).

۵-۴- پولیش‌پذیری دشوار و مدیریت خطر خراش‌های ریز

پولیش دمانتوئید کرمان با چالش‌هایی نظیر سختی متوسط، حساسیت حرارتی، و اختلاف سختی بین ماتریس و ناخالصی‌ها همراه است که می‌تواند باعث ایجاد خراش‌های ریز و سطوح ناهموار شود. سایش ناهمسان‌گرد در جهات مختلف شبکه بلوری، حضور ناخالصی‌هایی مانند کلسیت و حرارت موضعی ناشی از اصطکاک، از علل اصلی این دشواری‌ها به شمار می‌روند. گوهر تراشان باتجربه برای مدیریت این چالش‌ها پروتکل‌هایی طراحی کرده‌اند که شامل شکل‌دهی اولیه محافظه‌کارانه با صفحات ساینده ریز (مش ۱۰۰۰-۱۵۰۰)، آماده‌سازی سطح با ساینده‌های ۳۰۰۰ مش، و پرداخت مرحله‌ای با چرخ مسی و روغن همراه با پودر الماسه ۱.۵ میکرون و در نهایت چرخ قلع با سوسپانسیون اکسید آلومینیوم است. اجرای مرحله‌ای با فشار کم، حرکت مداوم سنگ و شستشوی بین مراحل، خطر گرمایش موضعی و خراش‌های ریز را به حداقل می‌رساند. انتخاب چرخ و روان‌ساز مناسب در هر مرحله، توالی دقیق ساینده‌ها و کنترل اندازه ذرات (۱.۵ میکرون ≈ 60000 مش، ۰.۱ میکرون ≈ 150000 مش) از اصول کلیدی این رویکرد هستند. این پروتکل امکان مدیریت پولیش‌پذیری دشوار و دستیابی به جلای نهایی یکنواخت، فاقد خراش و با حداکثر وضوح رنگ و جزئیات را فراهم می‌کند (Stockton and Vincent Manson, 1983; Hirt et al., 2022).

۶- بحث و نتیجه‌گیری

چالش‌های تراش دمانتوئید کرمان درهم‌تنیده هستند، به طوری که تصمیم درباره جهت تراش همزمان بر مدیریت ناخالصی، نمایش رنگ و بازدهی وزن اثر می‌گذارد. از این رو، روش‌های خطی و غیرانعطاف‌پذیر محکوم به شکست‌اند. راهبرد موفق، اتخاذ یک چرخه تصمیم‌گیری تطبیقی است که در آن، تراشکار پس از هر مرحله از ارزیابی و شکل‌دهی، موقعیت را بازبینی می‌کند. نکته حائز اهمیت دیگر، لزوم سرمایه‌گذاری زمانی در مراحل ابتدایی (بازرسی و پیش‌فرم) است. همان‌طور که در راهکار چالش پولیش مشاهده شد، شروع با ساینده‌های ریزگرید اگرچه زمان‌بر است، ولی در نهایت با جلوگیری از شکست و اتلاف ماده، کارایی کلی را افزایش می‌دهد. ویژگی‌های اپتیک منحصربه‌فرد دمانتوئید کرمان، مانند پراکندگی بالا و ضریب شکست، نقش کلیدی در انتخاب تراش دارند و می‌توانند با مدیریت صحیح، ارزش گوهر را چند برابر کنند. این مقاله نشان می‌دهد که فرآوری دمانتوئید کرمان دیگر یک هنر محض یا یک فن صرف نیست، بلکه دانشی بین‌رشته‌ای است که از زمین‌شناسی، مهندسی مواد، اپتیک و تجربه عملی سیراب می‌شود. تلفیق این دانش‌ها در قالب راهکارهای نظام‌مند ارائه‌شده، می‌تواند سهم ایران را در زنجیره ارزش این گوهر نادر از استخراج خام به فرآوری نهایی و باارزش، ارتقاء بخشد. پیشنهاد

می‌شود تحقیقات آینده بر شبیه‌سازی‌های کامپیوتری برای پیش‌بینی رفتار نوری و مکانیکی تمرکز کنند تا ریسک را بیشتر کاهش دهند. در نهایت، با پیاده‌سازی این استراتژی‌ها، تراشکاران می‌توانند از پتانسیل کامل دمانتوئید کرمان بهره‌برداری کنند و جایگاه ایران را در بازار جهانی گوهرها تقویت نمایند.

۷- منابع

- Freire-Lista, D.M., Fort, R., Varas-Muriel, M.J. (2016). Thermal stress-induced microcracking in building granite. *Engineering Geology* 206(3).
- Read, P. G. (2005). *Gemmology*. Butterworth-Heinemann.
- Giuliani, G., Groat, L., Ohnenstetter, D., Fallick, A.E., Feneyrol, J. (2019). THE GEOLOGY OF GEMS AND THEIR GEOGRAPHIC ORIGIN. *Geology of Gem Deposits Second Edition* (pp.113-134).
- Ahadnejad, V., Krzemnicki, M.S., Hirt, A.M. (2022). Demantoid from Kerman Province, South-east Iran: A Mineralogical and Gemmological Overview. *The Journal of Gemmology*, 38(4):329–347.
- Giuliani, G., Pignatelli, I., Feneyrol, J., Fallick, A.E., Andriamamonjy, A. (2025). Demantoid Garnet Deposits: Review and Geological Classification, *The Canadian Journal of Mineralogy and Petrology* (2025) 63 (5): 421–465.
- مشاهدات و مصاحبه‌های میدانی نویسنده با گوهرتراشان ایرانی (۱۴۰۲).
- kiani, M., Saki, S., Keyvani, F., Sadeghi, H. (2025). Demantoids from south Kerman, Iran: Gemological and Mineralogical Characterization. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, Volume 33, Issue 3 - Serial Number 99, Pages 561-572.
- Nouri Sandiani, F., Stern, B., Azizi, H. (2021). A review of garnet deposits in western and southern Iran. *International Geology Review*, Taylor & Francis, 64(1):1-28.
- Bindereif, S.G., Rüll, F., Schwarzing, S., Schwarzing, C. (2020). Chemometric Modeling of Trace Element Data for Origin Determination of Demantoid Garnets. *Minerals*, 10(12), 1046.
- Andradite - Demantoid | Iran, Kerman Province. GIA.
- Adamo, I., Bocchio, R., Diella, V., Pavese, A., Vignola, P., Prosperi, L., Palanza, V. (2009). Demantoid from Valmalenco, Italy: Review and Update. *Gems & Gemology* 45(4).
- (Hanco) Zwaan, J.C. (2022). Demantoid Garnet from Antetozambato, Northern Madagascar—Internal Characteristics and Their Use in Deciphering Geographic Origin, *The Journal of Gemmology* 38(1):64-79.
- Sorokina, E.S., Albert, R., Botcharnikov, R.E., Häger, T. (2023). Origin of Uralian andradite (var. demantoid): Constraints from in situ U-Pb LA-ICP-MS dating and trace element analysis, *Lithos* 444-445(107091).
- Stockton, C.M., Vincent Manson, D. (1983). Gem Andradite Garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 19, No. 4, GIA.
- Hirt, A.M., Krzemnicki, M.S., Ahadnejad, V. (2022). Demantoid from Kerman Province, South-east Iran: A Mineralogical and Gemmological Overview, *The Journal of Gemmology*, 38(4), 329–347.